

PENGARUH CAMPURAN KADAR BOTTOM ASH DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK

Muhadi Wiji Novianto

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ristinah S., MT
2. Roland Martin Simatupang, ST., MT

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : muhadiwijnovianto@gmail.com

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang merupakan campuran heterogen antara agregat kasar dan agregat halus dengan pengikat semen dan air yang dalam proses pencampurannya mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu. Pada umumnya elemen – elemen pokok pada konstruksi bangunan terutama kolom, balok dan plat yang dibuat dengan beton. Dari sisi ekonomis, selain mudah dibuat dan mudah dibentuk, bahan beton juga memiliki keunggulan lain yaitu agregat pengisi pasir dan kerikil atau batu pecah sangat berlimpah di alam sehingga mudah didapat. Dari segi kekuatan, bahan beton memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi, artinya beton sangat ideal untuk menerima beban tekan.

Lendutan merupakan fungsi dari pembebanan dan kekakuannya. Perilaku hubungan beban dan defleksi pada balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear. Bentuk trilinear tersebut membagi kondisi lendutan menjadi tiga bagian yaitu daerah I sebagai kondisi elastis, daerah II sebagai kondisi kemampuan layan/*serviceability*, dan daerah III sebagai kondisi plastis. Daerah *serviceability* merupakan daerah yang dibatasi dengan terjadinya retak pertama pada beton hingga pada pembebanan 70% beban maksimum yang mampu ditahan balok.

Pada penelitian lendutan balok digunakan benda uji balok beton bertulang dengan dimensi 70 mm x 100 mm x 1100 mm, dan benda uji silinder 150 mm x 300mm untuk uji kuat tekan. Benda uji balok dan silinder dibuat dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus sebesar 0%, 10%, 20%, dan 25%. Data lendutan diperoleh dengan pembacaan *dial gauge* pada setiap pembebanan..

Berdasar penelitian didapatkan nilai kuat tekan beton *bottom ash* lebih rendah dibanding kuat tekan beton normal. Menurunnya kuat tekan beton berpengaruh pada lendutan yang terjadi. Untuk nilai beban yang sama lendutan balok beton *bottom ash* sedikit lebih besar dibanding balok beton normal.

Kata kunci: *bottom ash*, agregat halus, lendutan, balok

PENDAHULUAN

Abu batu bara pada masa kini banyak dihasilkan dari pembangkit listrik yang menggunakan pembakaran batubara. Abu batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penanganan abu batubara masih terbatas pada penimbunan dilahan kosong. Hal ini

berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar jika terbawa ke perairan. Sudut pandang terhadap abu batubara harus dirubah.

Hingga saat ini abu batubara tersebut banyak dimanfaatkan untuk keperluan industri semen dan beton, bahan pengisi untuk bahan tambang dan

bahan galian serta berbagai pemanfaatan lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui pengaruh variasi campuran *bottom ash* dengan semen sebanyak 0%, 10%, 20% dan 25% terhadap nilai lendutan pada balok dengan tulangan geser dan tulangan lentur serta untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman dalam air laut selama 7, 14 dan 28 hari terhadap lendutan pada beton dengan tulangan geser dan tulangan lentur.

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada fly ash, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan.

Bottom ash dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash* berdasarkan jenis tungkunya yaitu dry bottom boiler yang menghasilkan dry *bottom ash* dan slag-tap boiler serta cyclone boiler yang menghasilkan wet *bottom ash*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

Tabel 1 Sifat fisik khas dari *bottom ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000 [1]

Guna memanfaatkan limbah-limbah hasil industri seperti halnya abu batubara, dipandang perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan abu batubara sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton. Beberapa investigasi menyimpulkan bahwa abu batubara memiliki kapasitas untuk mempercepat pengikatan yang baik untuk pembuatan beton.

Beton adalah campuran agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Ditambah semen dan air yang digunakan sebagai bahan pengikat dan atau menggunakan bahan tambahan. Terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus berupa pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lainnya dengan atau tanpa bahan campuran serta semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu.

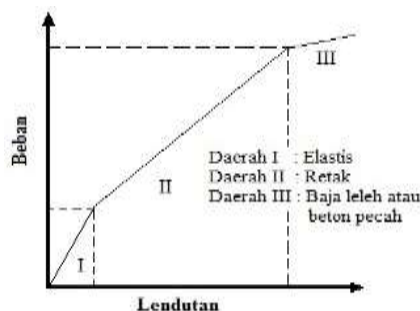
Perilaku mekanik beton merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada suatu struktur. Sifat-sifat mekanis pada beton antara lain adalah kekuatan tekan, kekuatan

tarik, kuat lentur, kuat geser, perilaku tegangan-regangan dan modulus elastisitas.

Elemen struktur akan mengalami lentur dan deformasi akibat beban luar yang bekerja. Lentur yang terjadi pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Jika beban luar yang bekerja terus meningkat, maka balok akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok.

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya rupture. Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak- retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya. Daerah III : Taraf pasca-serviceability, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 1 Hubungan beban-lendutan struktur beton

Pada perhitungan lendutan hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi retak dari penampang balok. Terjadinya retak berpengaruh pada nilai momen inersia dari balok, oleh karena itu nilai momen inersia dari penampang harus disesuaikan dengan kondisi retak yang terjadi.

Pada SNI 03-2847-2002 ditetapkan bahwa lendutan seketika dihitung dengan nilai momen inersia efektif I_e berdasar persamaan berikut:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} I_{cr}$$

dengan:

I_e = Momen inersia efektif

I_{cr} = Momen inersia penampang retak transformasi

I_g = Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh batang tulangan diabaikan

M_a = Momen maksimum pada saat lendutan maksimum dihitung

M_{cr} = Momen pada saat timbul retak pertama kali

Nilai M_{cr} dihitung dengan persamaan:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dengan:

f_r = Modulus retak beton, untuk beton normal $f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$.

y_t = jarak dari garis netral penampang utuh ke serat tepi tarik

Nilai I_{cr} dihitung dengan persamaan:

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 + n A_s (d - y)^2$$

dengan:

b = Lebar penampang balok

y = Garis netral daerah tekan terhadap serat tarik daerah tekan

n = Jumlah tulangan

A_s = Luas tulangan tarik

d = Tinggi efektif balok

Nilai y dihitung dengan persamaan:

$$\frac{n A_s}{b} \left[\sqrt{\left(1 + \frac{2 b d}{n A_s} \right) - 1} \right]$$

Dari persamaan momen inersia efektif I_e tersebut dapat disimpulkan bahwa apabila nilai momen maksimum kurang dari momen retak M_{cr} , maka momen inersia penampang utuh menjadi faktor yang dominan. Sedangkan apabila momen maksimum lebih tinggi dari momen retak, momen inersia I_{cr} lebih menentukan. Nilai momen inersia efektif ini I_e terletak di antara I_{cr} dan I_g ($I_{cr} \leq I_e \leq I_g$).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan benda uji balok untuk uji lendutan. Masing-masing benda uji dibuat dengan variasi *bottom ash* sebagai pengganti semen sebesar 0%, 10%, 20% dan 25%. Setiap variasi dibuat 2 benda uji. Rancangan benda uji dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Rancangan benda uji dengan variasi *bottom ash*

Campuran kadar Bottom ash Terhadap semen		Durasi Perendaman Beton dengan Air Laut (hari)					
		7		14		28	
Semen	Bottom Ash	Geser	Lentur	Geser	Lentur	Geser	Lentur
100%	0%	2	2	2	2	2	2
90%	10%	2	2	2	2	2	2
80%	20%	2	2	2	2	2	2
75%	25%	2	2	2	2	2	2

Nilai lendutan eksperimental pada balok ditentukan dengan pembacaan *dial gauge* dengan besar pembebanan tertentu. Pembebanan balok dilakukan dengan 2 variasi, yaitu untuk balok dengan tulangan geser, balok diberi 2 beban terpusat yang masing-masing bebannya akan diletakkan pada 1/3 bentang. Sedangkan pada balok dengan tulangan lentur, balok akan diberi 1 beban terpusat yang akan diletakkan tepat di tengah bentang. Berdasar data pengujian lendutan dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan dan persamaan regresinya.

Untuk mengetahui pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti sebagian semen dan lama perendaman balok

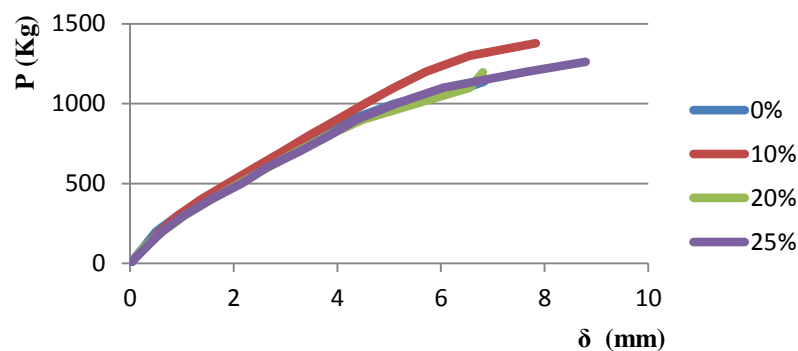
terhadap lendutan dapat dilakukan uji *ANOVA* dua arah. Uji *ANOVA* dilakukan terhadap nilai lendutan dan lama perendaman balok.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

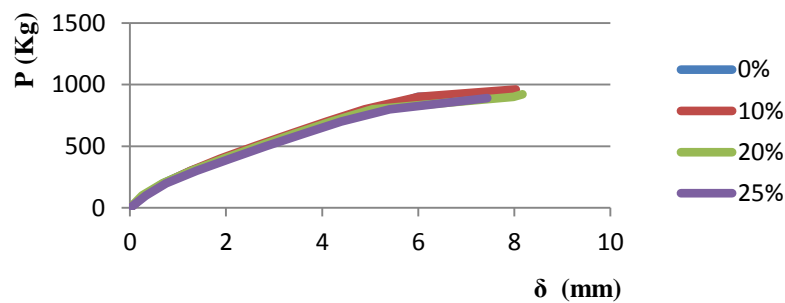
1. Hasil pegujian lendutan

Balok yang diuji adalah balok beton dengan variasi penambahan *bottom ash* 0%, 10%, 20% dan 25% dengan lama perendaman selama 7, 14 dan 28 hari.

Berdasar persamaan regresi pada masing-masing variasi *bottom ash* dengan tulangan geser dan tulangan lentur, dapat digambarkan hubungan beban-lendutan gabungan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan geser



Gambar 2 Hubungan beban-lendutan gabungan balok dengan tulangan lentur

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh prosentase kadar *bottom ash* dan lama perendaman terhadap lendutan pada beton bertulang, maka dilakukan analisa statistik dengan menggunakan metode pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan teknik analisis statistik anova dua arah.

Tabel 6 Anova 2 arah untuk balok tulangan geser

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel
Prosentase bottom Ash	16.1392	3	5.3797	0.6235	3.49
Lama Perendaman	4.6934	2	2.3467	0.2720	3.89
Interaksi	24.8114	6	4.1352	0.4792	3.00
Galat	103.5479	12	8.6290		
Total	57.9038	23			

Tabel 7 Anova 2 arah untuk balok tulangan lentur

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel
Prosentase bottom Ash	16.9604	3	5.6535	0.7516	3.49
Lama Perendaman	2.1355	2	1.0677	0.1419	3.89
Interaksi	12.8444	6	2.1407	0.2846	3.00
Galat	90.2677	12	7.5223		
Total	58.3274	23			

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa :

1. $F_{hitung} \text{ antar group (A)} < F_{Tabel}$ antar group (A), ini menunjukkan bahwa H_{0A} diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada

pengaruh yang signifikan antara prosentase kadar *bottom ash* terhadap lendutan pada balok.

2. $F_{hitung} \text{ antar group (B)} < F_{Tabel}$ antar group (B), ini menunjukkan bahwa H_{0B} diterima sehingga dapat

disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara lama perendaman terhadap lendutan pada balok..

3. F hitung antar group (AB) < F Tabel antar group (AB), ini menunjukkan bahwa H_0AB diterima, sehingga dapat disimpulkan tidak ada interaksi yang signifikan antara prosentase kadar bottom ash dan lama perendaman.

KESIMPULAN

Berdasar analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap penelitian tentang pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti semen terhadap lendutan balok beton yang memiliki ukuran panjang 110 cm, lebar 7 cm dan tinggi 10 cm dengan 2 variasi tulangan yaitu tulangan geser dan tulangan lentur yang kemudian direndam dalam air laut, dapat dibuat sebuah kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan bottom ash pada balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan. Hal ini dapat disimpulkan berdasarkan uji statistic anova 2 arah untuk variasi prosentase bottom ash 0%, 10%, 20% dan 25%.

2. Perendaman balok dengan tulangan geser dan lentur tidak mempengaruhi nilai lendutan secara signifikan, baik pada perendaman 7, 14 dan 28 hari.
3. Berdasarkan perhitungan nilai izin lendutan pada balok dengan tulangan lentur dan geser sebesar 4,5833 mm dapat disimpulkan bahwa nilai beban yang terjadi saat lendutan izin terbesar terdapat pada balok dengan tulangan geser yaitu sebesar 1103.48 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Badan Standirisasi Nasional, 2002. *SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standirisasi Nasional, 2004. *SNI 15-2049-2004. Semen Portland*.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- <http://www.mii.org/minerals/phototalc.html>, diakses 20 Oktober 2011.
- <http://www.tekmira.esdm.go.id>, diakses 12 Oktober 2012.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Eresco.
- Nurlina, Siti. 2008. *Buku Ajar Teknologi Bahan I*. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, Malang.
- Pemerintah Kabupaten Malang. 2011. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Malang Tahun 2010-2015*.
- Petunjuk praktikum teknologi beton*. Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Malang.
- Pratikto. 2009. *Diktat Konstruksi Beton I*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Widodo. 2008. *Bahan Kuliah Struktur Beton Bertulang I*. Univeritas Islam Indonesia, Jogjakarta
- <http://puslit.petra.ac.id/journals/civil/>
- Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description*, [http://www.cedar.at/mailarchives/waste/cbabs1.htm], 2000.
- Nawy, E. G., 2003, *Reinforced Concrete a Fundamental Approach*, 5th ed., Pearson Education Ltd., London.